

УДК 550.34

## ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Мониторинг сейсмичности Казахстана выявил значительное количество землетрясений в районах, которые традиционно считались асейсмичными. Ряд землетрясений приурочен к местам активного техногенного воздействия. В статье приводится информация о событиях техногенной и индуцированной природы на территории Казахстана с использованием как современных инструментальных данных по региональной сети мониторинга, так и по данным международных центров данных. Исследованы техногенные землетрясения на месторождениях твердых полезных ископаемых (Жезказганское месторождение в Центральном Казахстане, золоторудные карьеры Северного Казахстана), на месторождениях углеводородного сырья (нефтегазовое месторождение Тенгиз, газоконденсатное Жанажол), на бывшем Семипалатинском испытательном ядерном полигоне, а также природно-техногенные (индуцированные) землетрясения (в Центральном и Западном Казахстане). Рассматриваются возможные причины их возникновения.

## ВВЕДЕНИЕ

До 1994 г. в Казахстане работала сеть сейсмических станций (оператор сети - Институт сейсмологии АН Казахстана, затем СОМЭ МОН РК), сконцентрированная в сейсмически активных районах Казахстана – на юге, юго-востоке и частично на востоке страны. При размещении станций существовала тенденция приблизить станции к очаговым зонам землетрясений, чтобы улучшить регистрацию самых слабых событий. Поэтому станции часто «выстроены» вдоль хребтов, как, например, в случае Северного Тянь-Шаня, где наблюдается высокая сейсмическая активность. Местами установки станций становились и районы произошедших сильных землетрясений, иногда там, где сейсмологи их не ожидали, в разрез с информацией карт общего сейсмического районирования. Так, например, было в случае Зайсанского землетрясения 1990 г. с магнитудой  $M_w=6.9$  и интенсивностью в эпицентре 7 - 8 баллов по шкале MSK-64 в Восточном Казахстане, после которого была установлена сейсмическая станция в пос. Зайсан [1]. Однако на 80% территории Казахстана, включающей центральную, западную и северную его части никогда до 1994 г. не проводились стационарные сейсмические наблюдения.

Результатом деятельности сети сейсмических наблюдений стали каталоги землетрясений, включающие территории Северного и Южного Тянь-Шаня, Джунгарии, в меньшей степени Тарбагатая и казахстанской части Алтая [2, 3]. Информация по активным зонам, выявленным наблюдательной сетью станций отражена в действующей карте сейсмического районирования Казахстана, составленной в 2003 г. и являющейся неотъемлемой частью Строительных норм и правил Республики Казахстан (строительство в сейсмических районах) [4]. Согласно [4] сейсмически опасные зоны с возможной интенсивностью сотрясений более 5 баллов по шкале MSK-64 находятся на юге, юго-востоке и востоке страны, то-есть, именно там, где находились сейсмические станции.

Начиная с 1994 г., Институт геофизических исследований (ИГИ) начал создавать на территории Казахстана сеть станций мониторинга для контроля за выполнением Договора о запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Строились как можно более чувствительные станции, способные регистрировать события, происходящие в любой точке земного шара, как на близких, так и на телесеизмических расстояниях. Основой новой сети мониторинга стали сейсмические группы. Их места расположения, апертура и конфигурация [5, 6] не были связаны с сейсмичностью того или иного района, они расположены как в сейсмичных, так и в асейсмичных районах страны. В состав сети, наряду с сейсмическими группами, входят односторонние трехкомпонентные станции, удачно дополняющие сеть в необходимых районах. Сейсмические станции новой сети расположены, условно говоря, по периметру Казахстана (на западе, севере, востоке и юге Казахстана), одна трехкомпонентная станция расположена в центре страны и несколько на юго-востоке (рисунок 1).

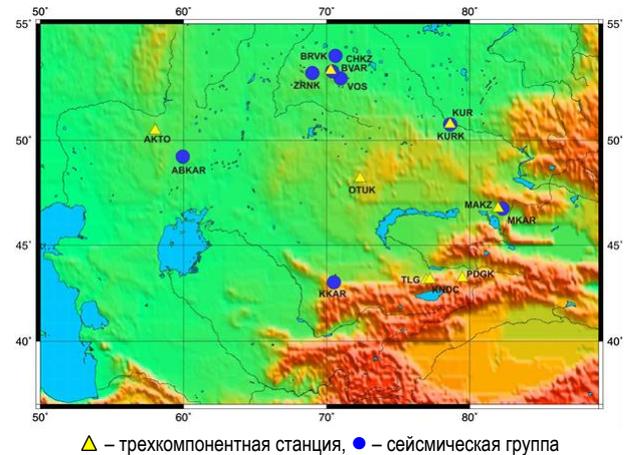


Рисунок 1. Расположение сейсмических станций сети Института геофизических исследований

Такое расположение станций позволяет с высокой эффективностью проводить сейсмический мониторинг как внутри территории страны, так и за ее пределами.

С 1999 г. по 2006 г. построены и эксплуатируются пять новых высокотехнологичных сейсмических групп. Их эффективность обеспечена рядом причин. Во-первых, тем, что площадки для строительства выбраны с учетом геологических условий и низкого уровня сейсмических шумов. Во-вторых, регистрирующая аппаратура расположена в скважинах на глубине 30 – 60 м. Апертура групп изменяется от 3 км до 22.5 км. В-третьих, группы оснащены чувствительной аппаратурой. В их состав обязательно входит широкополосная трехкомпонентная станция и комплект однокомпонентных вертикальных сейсмометров. Преимуществом сейсмических групп является возможность использования специальных методов обработки данных, позволяющих проводить локализацию источника даже по данным одной группы.

С 2003 г. начато систематическое обнаружение и обработка сигналов, составление сейсмических бюллетеней в Центре данных ИГИ. Уже в первые годы сейсмического мониторинга Казахстана новой сетью выявлено значительное количество событий в районах, которые традиционно считались асейсмичными. Большую часть этих событий, безусловно, составляют промышленные взрывы [7], используемые при разработке полезных ископаемых - именно в последние десятилетия произошел скачок количества промышленных взрывов. Но регистрировались и события, которые не являлись взрывами. По собранным архивным данным о сейсмологической истории районов, где они произошли, проведено исследование природы таких событий, обнаруженных в центральном, западном, северном и северо-восточном Казахстане. События приурочены к таким местам активного техногенного воздействия, как разработка месторождений твердых полезных ископаемых и нефтегазовых месторождений, а также к местам исторических подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на территории Семипалатинского испытательного полигона (рисунок 2).

Причины таких землетрясений могут быть разными, но, как правило, все они связаны с продолжительным техногенным воздействием на геологическую среду, вызывающим ответную реакцию в виде обрушений породы и горных ударов в местах добычи твердых полезных ископаемых [8 - 10], техногенных землетрясений в продуктивных горизонтах при разработке нефтегазовых месторождений. Кроме этого, вблизи крупных активных карьеров могут возникать природно-техногенные землетрясения с очагами, приуроченными к активным тектоническим разломам [11 - 12] в непосредственной близости от районов длительного техногенного воздействия. В местах проведения ПЯВ землетрясения могут

быть связаны с обрушением полостей, образовавшихся в связи со взрывом [13].

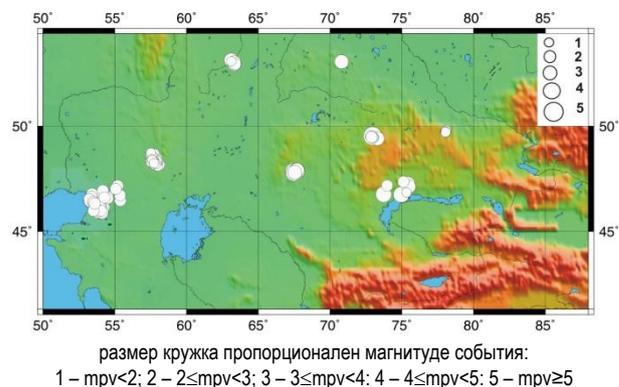


Рисунок 2. Расположение эпицентров техногенных сейсмических событий

Перед авторами настоящей работы стояла задача обобщения имеющейся информации о событиях техногенной и индуцированной природы на территории Казахстана с использованием как современных инструментальных данных по региональной сети мониторинга, так и данных международных центров обработки сейсмологических данных глобальных сетей наблюдений.

**ТЕХНОГЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**  
**Жезказганское месторождение в Центральном Казахстане**

Длительная разработка Жезказганского месторождения меди (более 160 лет) привела к существенным геодинамическим изменениям в геологической среде, которые проявились мощными техногенными землетрясениями. Самое сильное из них, с  $m_b=4.8$ ,  $M_s=4.5$ , произошло 01.08.1994 г. на территории карьера Златоуст-Беловский вблизи г. Жезказган (рисунок 3).

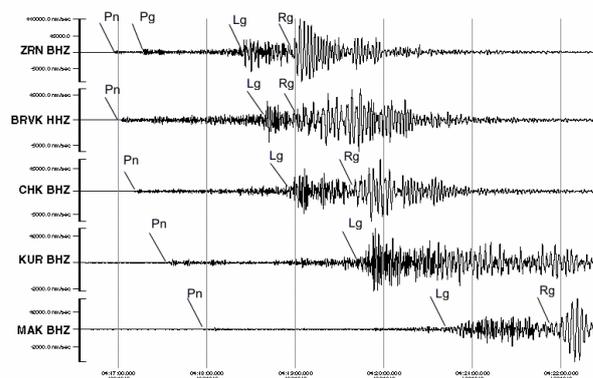
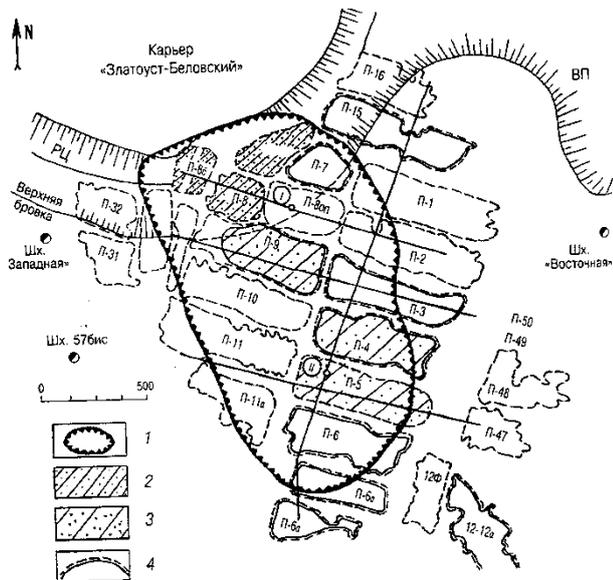


Рисунок 3. Район Жезказгана. Сейсмические записи события 01.08.1994 г.  $t_0=04-15-39.7$ ,  $\varphi=47.833^\circ$ ,  $\lambda=67.451^\circ$ ;  $m_b=4.8$ ,  $K=12.2$ . Станции ИГИ. Z-компонента

Это было крупномасштабное обрушение, которое унесло жизни 6 человек, вызвало разрушение

множества действующих подземных выработок и зданий на поверхности. Проявления землетрясения были столь сильными, что практически привели к полной остановке работ на одном из рудников, закрытию ряда шахт и переносу поверхностных строений из опасной зоны. Были искорежены рельсовые пути, опрокинуты вагоны [8, 9]. На рисунке 4 приведена схема обрушения налегающей толщи с выходом на дневную поверхность [8].



1 – контур обрушения, 2 - 4 – панели соответственно заложенные, частично заложенные и ослабленные [8]

Рисунок 4. Карьер Златоуст-Беловский Жезказганского месторождения. Схема реализации процесса обрушения, произошедшего 01.08.1994 г.

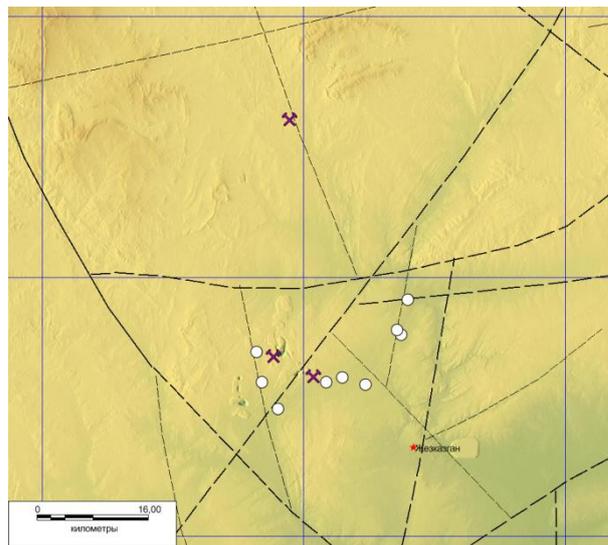
Другое событие, произошедшее 23.06.1996 г. в районе Жезказганского месторождения ( $M_s=3.7$ ), ощущалось в п. Каражал (эпицентральное расстояние  $\Delta=243$  км), п. Агадырь ( $\Delta=398$  км) с интенсивностью 3 балла. Станциями ИГИ зарегистрированы также события 09.09.2002 ( $M_s=4.4$ ) и 23.06.2005 ( $M_s=4.0$ ). На рисунке 5 показаны эпицентры, а в таблице 1 приведены параметры наиболее сильных сейсмических событий ( $m_{pva} \geq 3.7$ ) вблизи г. Жезказган.

Таблица 1 Параметры сейсмических событий вблизи г. Жезказган.

Дата	$t_0$	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	h	$m_{pva}$	$M_s$	K
01.08.1994	04:15:39.7	47.833	67.451	0	4.8	4.5	12.2
17.07.1995	19:08:30.9	47.973	67.699	0	3.9		10.4
23.06.1996	18:28:25.8	47.8643	67.618	0	4.3		10.9
01.08.1996	00:06:04.5	47.9284	67.6856	0	4		10.4
09.09.2002	22:27:01.3	47.873	67.573	0	4.6	3.8	11.0
23.06.2005	18:00:07.6	47.9059	67.4092	0	4.1	3.5	10.4
16.01.2009	22:18:29.8	47.8672	67.4203	0	3.7		9.4
19.03.2009	19:08:46.6	47.934	67.6777	0	4.3		10.4
11.06.2009	06:05:49.9	47.8672	67.5424	0	3.9		10.3

Из таблицы 1 видно, что после 2009 г. сильных событий в районе Жезказганского месторождения

не было. Это связано с тем, что, начиная с 2010 г. изменилась технология подземной добычи руды с исключением опасной отработки богатых содержанием металла горных целиков (оставшихся со времен СССР), которые к тому времени были все отработаны. В настоящее время подземная добыча проводится в меньших объемах, большая часть добычных работ проводится с поверхности в открытых горных выработках (карьерах).



--- разрывные нарушения; ○ – эпицентр события, ✕ – карьер

Рисунок 5. Карта расположения эпицентров сейсмических событий в районе Жезказганского месторождения.

### Золоторудные карьеры в Северном Казахстане

В Северном Казахстане землетрясения происходят очень редко. Наиболее заметным является землетрясение вблизи курорта Боровое ( $m_{pva}=3.5$ , энергетический класс 8.6), произошедшее 08.05.2003 г. в 16-08-13.3,  $\varphi=52.825^\circ N$ ,  $\lambda=70.807^\circ E$  (таблица 2).

Таблица 2 Параметры сейсмических событий вблизи г. Степняк

Дата	$t_0$	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	h	$m_{pva}$	K
08.05.2003	16:08:13.3	52.825	70.807	0	3.5	8.6

В г. Степняк, находящемся в 6 км от эпицентра, колебания достигали интенсивности 4 балла [10]. По словам очевидцев, землетрясение ощущалось как удар и сильное раскачивание. Во многих дворах на земле появились трещины различного размера. Землетрясение ощущалось также в других ближайших поселках и некоторыми жителями г. Астаны ( $\Delta=193$  км) с интенсивностью 2 балла.

На рисунке 6 показано расположение эпицентра землетрясения 08.05.2003 г., а также тектонические и разрывные нарушения. Землетрясение произошло в месте, где возникновение тектонических землетрясений маловероятно. Однако вблизи эпицентра расположены шахты и забои золотодобывающего руд-

ника. Добыча золота здесь началась сотни лет назад. В 1928 г. золотодобывающий прииск стал рудником, а в 30-е годы прошлого века в шахтах и забоях уже велась интенсивная добыча руды с использованием механизмов горнодобывающей промышленности. В настоящее время добыча месторождения законсервирована, а вблизи шахт не проводится мониторинг их состояния. На рисунке 8 представлены сейсмограммы сейсмического события 08.05.2003 г., зарегистрированные станциями ИГИ, расположенным вблизи п. Боровое.



Рисунок 6. Расположение эпицентра землетрясения 08.05.2003 г.  $t_0=16-08-13$ , тектонических и разрывных нарушений

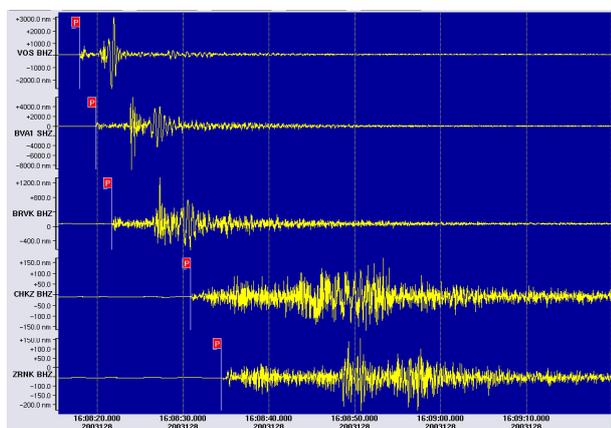


Рисунок 7. Сейсмограммы сейсмического события 08.05.2003 г. станций ИГИ, расположенных вблизи Борового (Z-компонента)

Землетрясение было зарегистрировано всеми станциями ИГИ на расстояниях от 15 до 1080 км. С большой вероятностью можно утверждать, что рассматриваемое событие является обрушением горных пород, о чем свидетельствует характерная форма записи события: мощные поверхностные волны, все знаки первых вступлений на вертикальных компонентах записи являются минусами.

### ТЕХНОГЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ *Месторождение Тенгиз в северном Прикаспии*

Гигантское нефтегазовое месторождение Тенгиз в Атырауской области, в 160 км от города Атырау, открыто в 1979 г. Район месторождения Тенгиз относится к асейсмичным районам Казахстана. В апреле 1991 г. началась промышленная добыча нефти.

До 1997 г. в международных и региональных сейсмологических бюллетенях события из этого района не были отмечены. В 1997 г. на территории месторождения Международными сейсмологическими центрами зарегистрированы сейсмические события: 19.02.1997 г. в  $t_0=07-09-57.5$  с  $m_b=3.4$  и 06.04.1997 г. в  $t_0=21-42-10.0$  с  $m_b=3.5$ . В последние годы наблюдается увеличение количества сейсмических событий, регистрируемых региональными сейсмическими сетями в районе Тенгизского месторождения (рисунок 8). Так, например в 2015 г. сетью станций ИГИ зарегистрированы 10 сейсмических событий (магнитуда  $m_b 2.8 \div 3.5$ ), а в 2016 г. – 18 событий (магнитуда  $m_b 2.5 \div 3.5$ ).

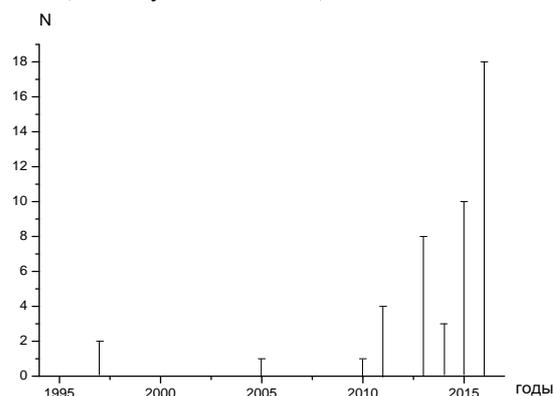


Рисунок 8. Ежегодное количество землетрясений из района месторождения Тенгиз, зарегистрированных сейсмической сетью станций ИГИ и глобальными сетями мониторинга

Самые ближайшие к месторождению станции - трехкомпонентная сейсмическая станция AS059-Актюбинск (АКТО) и сейсмическая группа Акбулак (АВКАР), – расположены на расстояниях ~570 км и ~600 км, соответственно, регистрируют события не слабее  $m_b 2.1$ . Самыми сильными событиями за исследуемый период по данным сети станций ИГИ и международных сейсмологических центров были землетрясения 21.02.2011,  $t_0=09:03$ ; 23.05.2014,  $t_0=21:03$ ; 16.06.2015,  $t_0=21:25$ ; 07.05.2016,  $t_0=19:27$  (рисунок 9). Землетрясения ощущались на месторождении с интенсивностью 3 - 4 балла. Некоторые из событий, кроме станций сети ИГИ, регистрируются глобальными и региональными сетями мониторинга [13] (таблица 3).

## ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

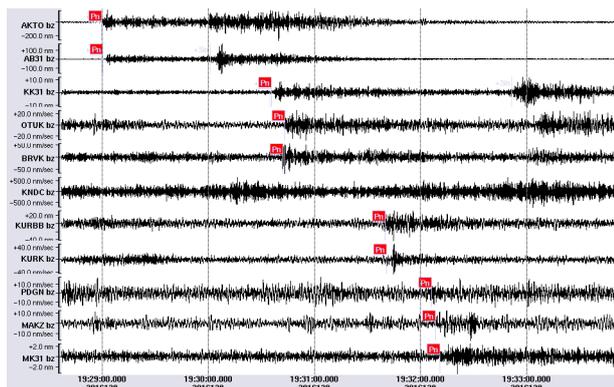


Рисунок 9. Сейсмические записи события 07.05.2016 г.  $t_0=19-27-41.9$ ,  $\varphi=45.97^\circ$ ,  $\lambda=53.85^\circ$ ,  $mpv=3.5$ ,  $K=8.5$  в районе месторождения Тенгиз станциями сети ИГИ (Z-компонента)

На рисунке 10 представлено расположение эпицентра сейсмического события 07.05.2016 г.,  $t_0=19:27:38.9$  и зарегистрировавших его 19 сейсмических станций на региональных и телесеismicких расстояниях. Самая близкая станция АКТО расположена от эпицентра землетрясения на расстоянии 596 км, самая далекая сейсмическая группа УКА Yellowknife (Канада) – ( $\Delta = 7927$  км).

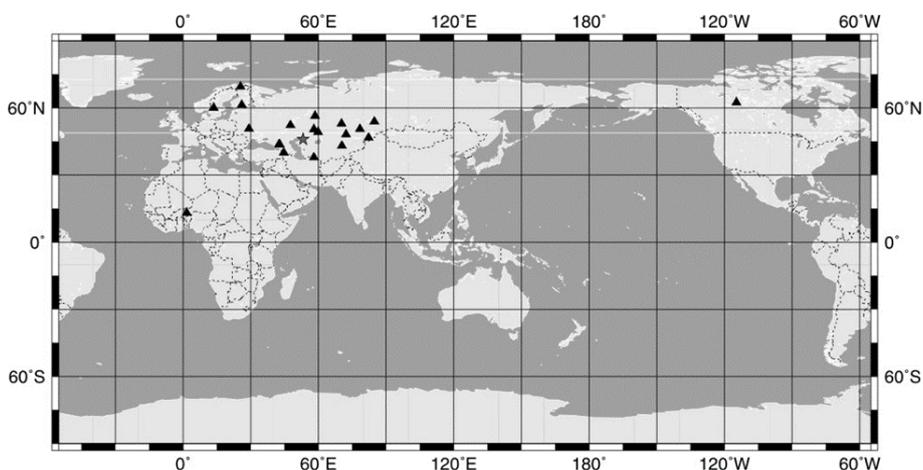


Рисунок 10. Расположение эпицентра сейсмического события 07.05.2016 г.  $t_0=19-27-41.9$  (★) и зарегистрировавших его сейсмических станций на региональных и телесеismicких расстояниях (▲)

Таблица 3. Параметры землетрясений на территории Тенгизского месторождения

N	Дата	Время в очаге	Широта	Долгота	mb	mpv	ML	K	Nsta	Сеть
1	06.04.1997	21:42:10.0	46.3910	54.0810	3.5				4	EIDC
2	21.02.2011	09:03:20.2	46.1780	53.4023	3.7		3.6		18	IDC
	21.02.2011	09:03:20.5	46.146	53.474	4.0				23	ГС РАН
	21.02.2011	09:03:22.1	46.0287	53.5924	3.8				20	EMSC
	21.02.2011	09:03:25.8	46.2096	54.1584	3.7	3.1		8.4	5	ИГИ
	21.02.2011	09:03:23.3	46.0621	53.5943	3.7				48	ISC
3	23.05.2014	21:03:52.8	45.9656	54.0435	3.9	3.7		8.6	4	ИГИ
	23.05.2014	21:03:51.0	46.2113	53.2775	3.7		3.4			IDC
4	16.06.2015	21:25:28.8	45.9389	54.0877	3.5	3.0		7.4	2	ИГИ
	16.06.2015	21:25:23.8	46.1188	53.5150	3.8		3.6			IDC
5	31.07.2015	11:58:34.8	46.2151	53.6253	3.5		3.8			IDC
6	11.09.2015	1:32:45.5	46.3523	54.1106	3.5	3.1		6.9		ИГИ
7	29.04.2016	2:41:43.2	46.0014	53.9034	3.9	3.2		7.91	11	ИГИ
	29.04.2016	2:41:40.75	46.2077	53.1633	3.4		36		11	IDC
8	07.05.2016	19:27:41.9	45.9677	53.8543	3.7	3.5		8.48	12	ИГИ
	07.05.2016	19:27:37.6	46.0852	53.3212	3.7		3.3		16	IDC
9	14.06.2016	9:16:22.7	46.1166	53.8038	3.6	3.2		7.11	4	ИГИ
	14.06.2016	9:16:20.5	46.3452	53.1876	3.3		3.2		10	IDC
10	20.10.2016	11:19:39.6	46.1420	53.8362	3.9	3.2		8.90	12	ИГИ
	20.10.2016	11:19:37.5	46.0733	53.3411	3.6			3.7	12	IDC
11	29.10.2016	3:39:13.3	46.3559	53.2037	3.6			3.4	5	IDC
	29.10.2016	3:39:16.8	46.0141	54.029	3.2	2.8		6.82	4	ИГИ

**Месторождение Жанажол в Западном Казахстане**

Крупнейшее в Казахстане газоконденсатное месторождение Жанажол на территории Западного Казахстана открыто в 1978 г., разрабатывается с 1983 г. Начиная с 2004 г. сеть станций ИГИ зарегистрировала в районе месторождения более 80 событий с магнитудами mb 1.3 - 2.6 (рисунок 11-а), наибольшее количество которых приходится на период 2009 - 2010 гг. На рисунке 11-б представлено распределение событий по времени суток, из которого следует, что события регистрируются как в ночное, так и в дневное время. На рисунке 12 приведены сейсмограммы сейсмического события из района месторождения Жанажол 30.01.2009 г.,  $t_0=17:58:01$ ,  $\varphi=48.498678$ ,  $\lambda=57.697256$  ( $m_pva=2.1$ ,  $K=4.7$ ). Так как все события из района месторождения достаточно слабые, они регистрируются только сейсмической группой Акбулак ( $\Delta \sim 180$  км) и сейсмической станцией AS59-Актюбинск ( $\Delta \sim 220$  км). Эти события предположительно отнесены к техногенным.

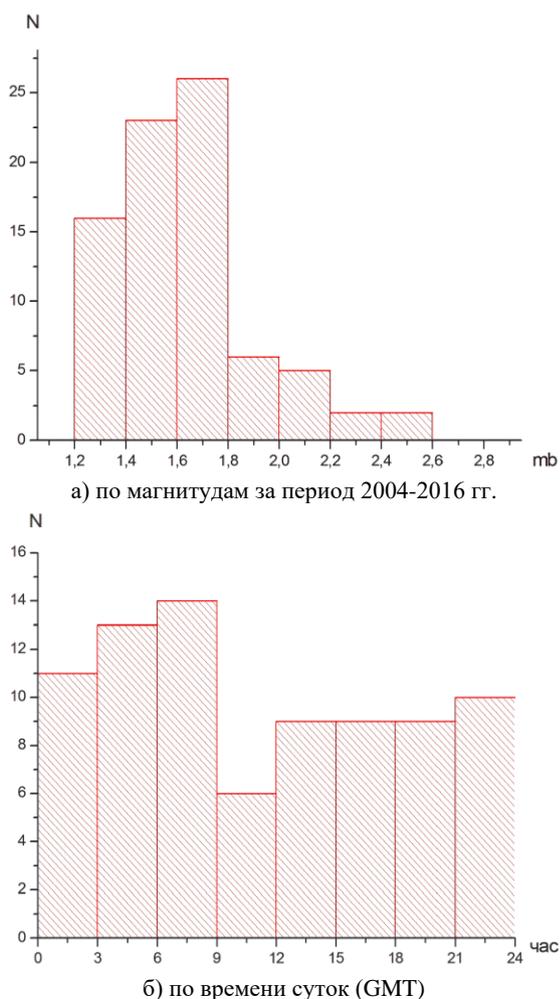


Рисунок 11. Распределение событий, зарегистрированных в районе месторождения Жанажол по магнитудам и времени суток

Для уточнения природы регистрируемых слабых сейсмических событий необходимо создать специальную локальную сеть сейсмического мониторинга непосредственно на территории месторождения Жанажол.

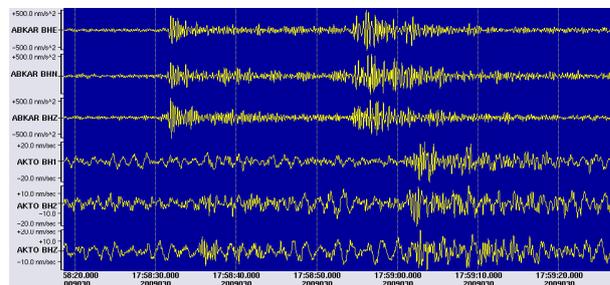


Рисунок 12. Сейсмограммы сейсмического события из района месторождения Жанажол 30.01.2009 г.,  $t_0=17:58:01$ ,  $\varphi=48.498678$ ,  $\lambda=57.697256$ ,  $m_pva=2.1$ ,  $K=4.7$ . Станции Акбулак и AS59-Актюбинск (Z- компонента)

**ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ НА БЫВШЕМ СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ПОЛИГОНЕ**

Согласно действующим картам общего сейсмического районирования Республики Казахстан (2003г.), территория Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) считается асейсмичным районом. Однако проведенные в последние годы исследования и анализ архивных данных [14] показали, что на территории полигона и вблизи него происходили и происходят в настоящее время тектонические и техногенные землетрясения с максимальной магнитудой до 5–5.9. На территории полигона за время его эксплуатации было проведено порядка 340 подземных ядерных взрывов (ПЯВ). Известно, что в течение непродолжительного времени (несколько часов - несколько суток) после ПЯВ регистрировались обрушения полости взрыва [15] (рисунок 13).

В настоящее время, спустя почти три десятилетия после окончания испытаний, наблюдается геодинамическая активность в районе инфраструктуры полигона. Одним из таких проявлений являются сейсмические события малой энергии. В течение 2005 - 2010 гг. ИГИ проводил сейсмический мониторинг на территории полигона с использованием временной сети локальных станций [14]. В 2010 г. полевой сейсмической станцией DEG1 были зарегистрированы слабые поверхностные события, форма записей которых похожа на регистрацию обрушения (рисунок 14, таблица 4).

На рисунке 15 представлен пример записи землетрясения из района площадки Дегелен, эпицентры таких событий согласуются с расположением использованных штолен на полигоне.

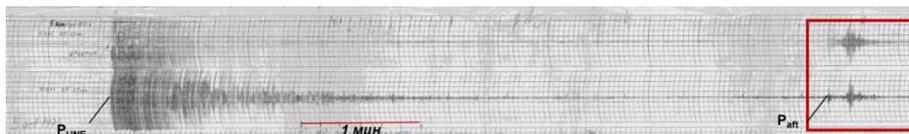
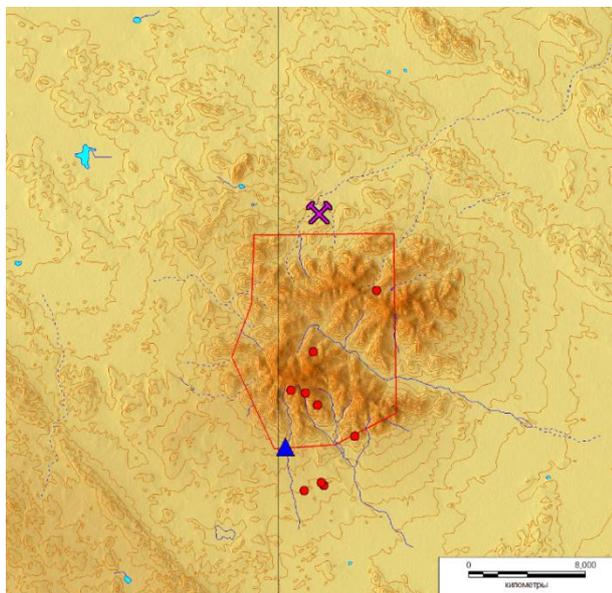


Рисунок 13. Сейсмограмма ПЯВ 05.10.1975 г.,  $t_0=04:27:00.0$ ,  $\varphi=49.78306$ ,  $\lambda=78.08667$ , площадка Дегелен. Станция Курчатов



● – эпицентр события; ▲ – сейсмическая станция DEG1; ✕ – карьер

Рисунок 14. Расположение эпицентров сейсмических событий в районе испытательной площадки Дегелен СИЯП

Таблица 4 Параметры сейсмических событий 2010 г. на площадке Дегелен

Дата	$t_0$	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, N$	h	мпва
15.05.2010	14:08:10.0	49.7563	78.0123	0	<1
19.05.2010	04:51:25.2	49.8181	78.0937	0	<1
22.05.2010	01:07:22.2	49.7548	78.0262	0	<1
23.05.2010	23:17:27.9	49.7802	78.0336	0	<1
29.05.2010	18:13:18.5	49.6945	78.0252	0	<1
22.06.2010	22:12:49.3	49.7473	78.0375	0	<1
24.07.2010	20:12:55.8	49.6978	78.044	0	<1
24.07.2010	20:16:48.9	49.6993	78.041	0	<1
28.07.2010	16:57:47.7	49.7282	78.0732	0	<1

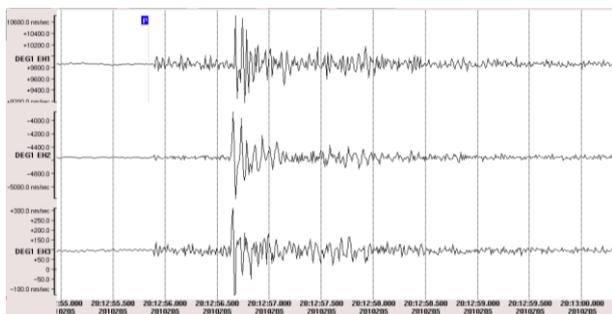


Рисунок 15. Сейсмограммы техногенного землетрясения на площадке Дегелен, 24.07.2010, 20:12:55.8, с координатами  $\varphi=49.6978^\circ$ ,  $\lambda=78.0440^\circ$

**ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ (ИНДУЦИРОВАННЫЕ) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

**Район г. Рудный**

17.04.2004 г., а также 02.04.2016 в Северном Казахстане вблизи г. Рудный произошли землетрясения с магнитудой более 3, которые ощущались в г. Рудный с интенсивностью 3 балла. Землетрясения в обоих случаях произошли в ночное время, имели глубину менее 10 км, имелись афтершоки. На рисунке 16 приведены сейсмограммы землетрясения 17.04.2004,  $t_0=19:56:54.9$ , а в таблице 5 даны параметры землетрясений, зарегистрированных станциям ИГИ.

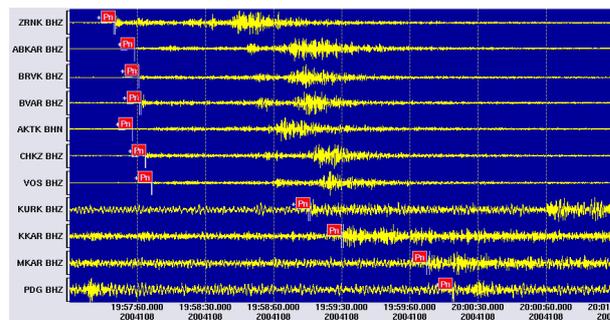


Рисунок 16. Сейсмические записи события 17.04.2004,  $t_0=19:56:54.9$  по сейсмическим станциям ИГИ (Z – компонента)

Таблица 5. Параметры сейсмических событий вблизи г. Рудный

Дата	$t_0$	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	h, км	мпв	mb	K
17.04.2004	19:22:17.7	52.7334	63.3306	зк	3,4	3,7	8,5
17.04.2004	19:31:28.6	52.7200	63.4042	зк	2,3	2,8	5,7
17.04.2004	19:56:54.9	52.7843	63.3094	зк	3,4	3,8	8,5
02.04.2016	19:15:32.2	52.8892	63.1180	12	3,1	3,5	8,1
02.04.2016	19:55:07.7	52.8433	63.1098	зк	<2		<5

Район г. Рудный является асейсмичным, однако вблизи него расположены крупные карьеры, такие как, Соколовский, Сарбайский и Качарский, где производятся взрывы с максимальной мощностью, достигающей 500-600 т при средней мощности 200 т.

На рисунке 17 приведена карта эпицентров землетрясений (согласно таблицы 5), разломов и карьеров вблизи г. Рудный. Сеть станций ИГИ регистрирует большое количество взрывов из этого района с энергетическими классами  $K=4.2-8$ . Суммарная сейсмическая энергия карьерных взрывов в радиусе 50 км от эпицентров землетрясений (рисунок 18) достигает 3 ГДж (2010, 2012 г.). Вполне вероятно, что

регулярное интенсивное техногенное воздействие могло вызвать подъем флюидов и спровоцировать или ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений.

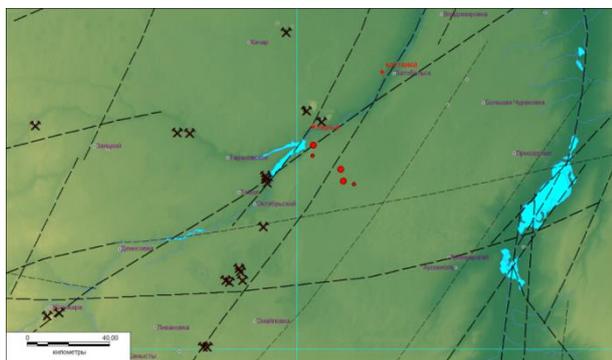


Рисунок 17. Эпицентры землетрясений (●), разломы (черные сплошные и пунктирные линии) и карьеры (✱) вблизи г. Рудный

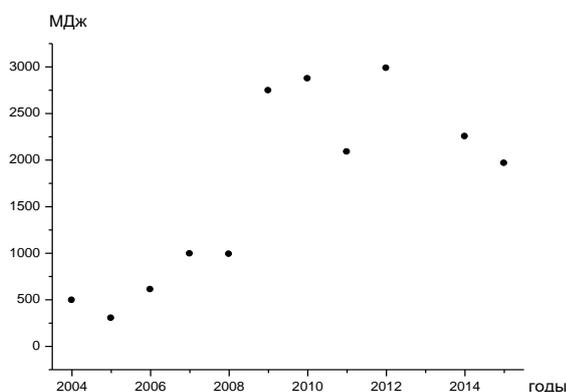


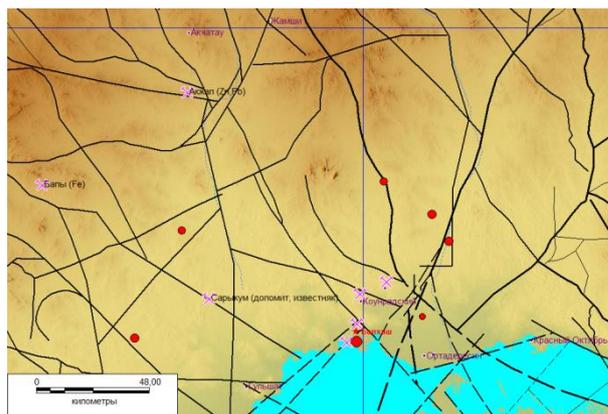
Рисунок 18. Ежегодная суммарная сейсмическая энергия карьерных взрывов в районе эпицентров землетрясений вблизи г. Рудный

**Район г. Балхаш**

02.08.2003 г. в 00:53:08.2 GMT на берегу оз. Балхаш, вблизи крупного медного месторождения Коунрад произошло мощное землетрясение, которое ощущалось в г. Балхаш силой 3 - 4 балла [16]. Координаты события  $\varphi=46.8032^{\circ}N$ ,  $\lambda=74.9628^{\circ}E$ ,  $mpv=4.8$ ,  $K=11.3$  (рисунок 19, таблица 6).

Таблица 6. Параметры сейсмических событий вблизи месторождения г. Балхаш

Дата	t0	$\varphi^{\circ},N$	$\lambda^{\circ},E$	h, км	mpv	mb	K
27.09.1988	16:11:36.3	46.8157	73.7273		4.5		
10.03.2002	00:56:21.5	47.1883	75.4766	зк	3.9	3.5	9
13.05.2003	10:41:12.9	47.2922	75.3832	13		4	9.6
02.08.2003	00:53:08.2	46.8032	74.9628	13		4.8	11.3
06.08.2003	01:05:48.7	47.4173	75.1154	3		2.8	7.1
02.05.2008	23:52:03.6	47.23	73.9895			2.9	7.8
20.01.2013	22:07:37.2	46.9	75.33			1.9	5.2



★ – г. Балхаш; ✱ – карьер или рудник; ● – эпицентр события; — — — — — нарушение (тектоническое, разрывное)

Рисунок 19. Расположение эпицентров событий, тектонических и разрывных нарушений вблизи Коунрадского месторождения

Север оз. Балхаш традиционно считается асейсмичным, однако в этом районе и ранее происходили землетрясения, самое сильное из которых ( $mb=4.5$ ) было 27.09.1988 г. к западу от г. Балхаш. Землетрясение 02.08.2003 г. имеет тектоническую природу: его очаг приурочен к тектоническому разлому, механизм - сдвиг, глубина события  $\sim 13$  км, волновая картина характерна для тектонического события из этого района (рисунок 20). Однако землетрясение 02.08.2003 г. произошло в непосредственной близости от Коунрадского месторождения медных руд, где регулярное антропогенное воздействие на среду могло ускорить процесс подготовки этого землетрясения.

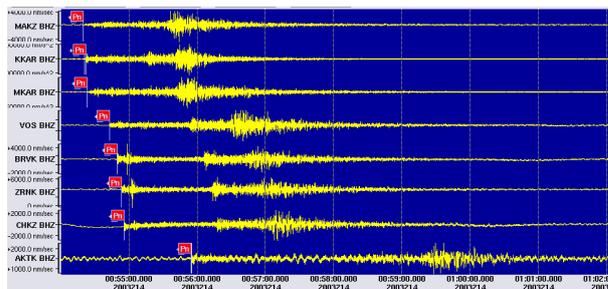


Рисунок 20. Сейсмограммы землетрясения 02.08.2003 г. в 00:53:08.2, зарегистрированные станциям ИГИ (Z-компонента)

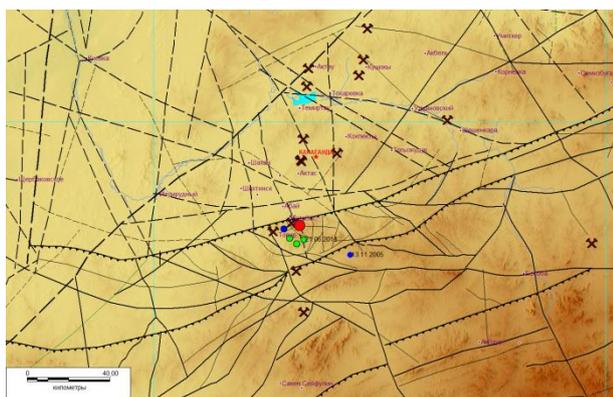
**Район г. Караганда**

21.06.2014 г. сейсмические станции ИГИ зарегистрировали довольно сильное землетрясение ( $mpva=5.2$ ) в Центральном Казахстане близ г. Караганды (таблица 7).

Наиболее близкая к эпицентру землетрясения станция Ортау ( $\Delta \sim 160$  км) находится к юго-западу от эпицентра. Записи получены также на станциях AS57-Боровое ( $\Delta \sim 432$  км), AS58-Курчатов ( $\Delta \sim 426$  км), PS23-Маканчи и др. (рисунок 21).

Таблица 7. Параметры сейсмических событий вблизи г. Караганда

N	Дата	t <sub>0</sub>	φ°,N	λ°,E	h,км	mpv	Ms	K
1	13.11.2005	12:03:54.0	49,4299	73,3076	6	3,7		9,2
2	19.06.2014	1:25:35.9	49,5386	72,8669	зк	2,6		6,7
3	21.06.2014	6:30:3,364	49,5551	72,9682	9	5,2	4,8	11,65
4	21.06.2014	6:47:4.9	49,4914	72,999	зк	2,1		5,8
5	09.07.2014	22:47:15.3	49,4979	72,9043	зк	2,9		6,9
6	28.07.2014	3:13:33.2	49,4736	72,9509	зк	2,3		4,8



● – эпицентр события (из таблицы 7): ● – № 1, 2; ● – № 3; ● – № 4 - 6

Рисунок 21. Эпицентры землетрясений, разломы и карьеры вблизи г. Караганда

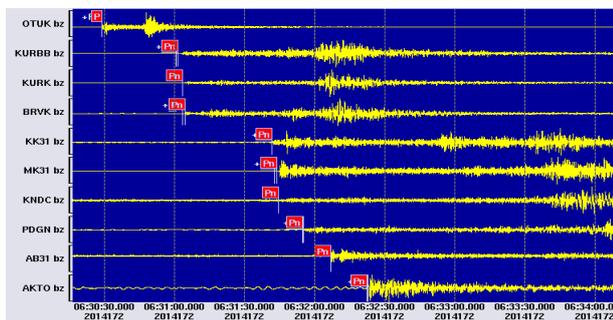
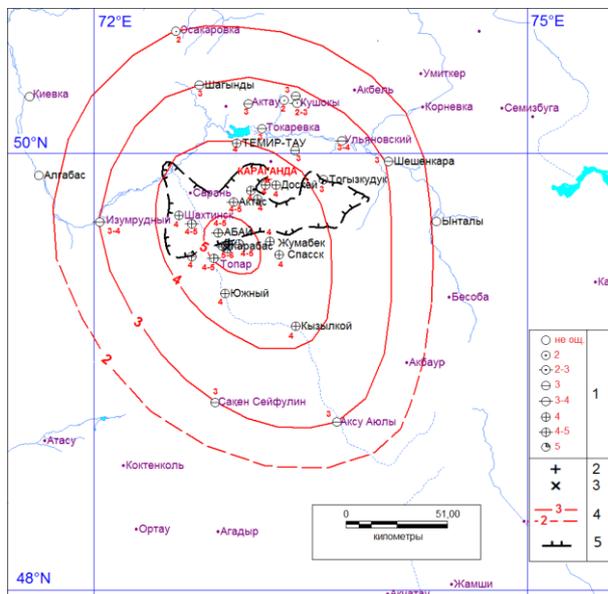


Рисунок 22. Сейсмограммы землетрясения 21.06.2014 г., зарегистрированного станциями ИГИ (Z-компонента)

У события 21.06.2014 г. зарегистрировано 3 афтершока, а 19.06.2014 г. в этом же районе зарегистрировано более слабое землетрясение с  $m_{pva}=2.6$  (таблица 7, рисунок 22).

Землетрясение ощущалось с интенсивностью сотрясений от 2 до 5 баллов по шкале MSK-64 на площади 230×190 км [17]. Макросейсмическое обследование эпицентральной территории землетрясения проведено сотрудниками ИГИ. По результатам об-

следования составлена таблица макросейсмических данных и построена карта изосейст (рисунок 23). Изосейсты землетрясения имеют форму, близкую к изометричной и чуть вытянуты в ССЗ направлении [17].



1 – пункты и значения интенсивности сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2, 3 – инструментальный и макросейсмический эпицентры соответственно; 4 – изосейсты и значения балльности; 5 – границы Карагандинского бассейна (Карбасса)

Рисунок 23. Карта изосейст землетрясения 21 июня 2014 г.

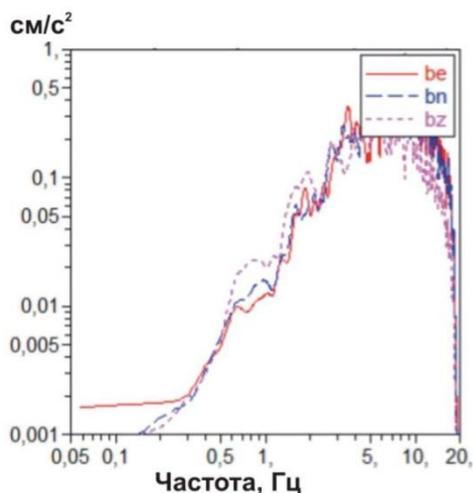
В таблице 8 приведены параметры сейсмических воздействий землетрясения 21.06.2014 г.  $t_0=06-30-03.2$  по данным ближайшей станций ИГИ – ускорения грунта А и колебательная скорость V.

На рисунке 24 приведены спектры реакции землетрясения по записям станции Ортау.

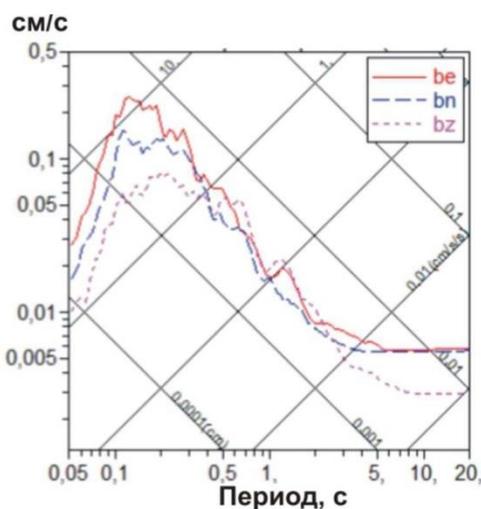
Сделан вывод о том, что землетрясение 21.06.2014 г. имеет тектоническую природу, о чем свидетельствуют приуроченность к тектоническому разлому, механизм взбросо-сдвиг, глубина события ~10 км, наличие афтершоков, особенность волновой картины и др. Однако вблизи эпицентра расположен один из крупнейших в мире Карагандинский угольный бассейн. Первая горная выработка была заложена здесь в 1857 г. В настоящее время в районе угольного бассейна производится большое количество мощных взрывов. Регулярное техногенное воздействие могло ускорить процесс подготовки землетрясения 21.06.2014 г.

Таблица 8. Параметры сейсмических воздействий землетрясения 21.06.2014 г. в 06-30-03.2.

Станция	Расстояние, км	I <sub>0</sub> , балл	Асм/с <sup>2</sup>			Vсм/с			T(A),с	T(V),с
			E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
OTUK	154		3,2	1,9	1,2	0,06	0,06	0,03	0,07, 0,2	0,07
KURK	424		0,1	0,1	0,05	0,005	0,003	0,003	0,33, 0,5	0,33
BRVK	432		0,05	0,1	0,04	0,003	0,005	0,003	0,23, 0,33	0,23



а) спектр Фурье (время 28-80 с)



б) спектр реакции псевдоскорости

Рисунок 24. Спектры Фурье и реакции землетрясения 21.06.2014 г. в 06-30-03.2 по данным станции Ортау

На рисунке 25 приведены стереограммы механизмов очагов самых сильных техногенных и природно-техногенных землетрясений Центрального Казахстана. Механизмы очагов определены по знакам первых вступлений объемных волн для трех Жезказганских и двух Карагандинских землетрясе-

ний. Во всех случаях механизмы очагов подобны: тип подвижки характеризуется взбросо-сдвигом, плоскости разрывов имеют северо-западное и северо-восточное простирание, что соответствует ориентации сейсмоактивных разломов этого региона.

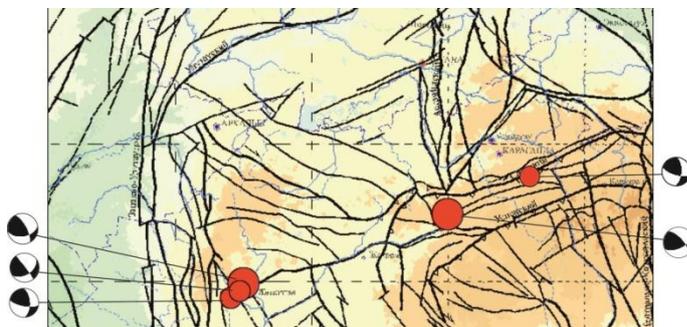


Рисунок 25. Стереограммы механизмов очагов землетрясений на фрагменте карты сейсмоактивных разломов

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информация, приведенная в статье по районам Казахстана, где отмечены техногенные события, безусловно, не является исчерпывающей. В основном, описаны события, выявленные сетью станций ИГИ за последние десятилетия. Несмотря на большое их количество, они не отражают общей картины геодинамической активности в районах интенсивного техногенного воздействия. В целом для огромной территории Казахстана представительная магнитуда  $M_p$  по стационарной сети сейсмических наблюдений составляет 3.5, но происходят слабые и микроземлетрясения, регистрация которых пока ограничена. Необходима организация специальных сетей мониторинга с размещением высокочувствительных станций в районах крупных месторождений твердых полезных ископаемых, нефтегазовых месторождений, а также на СИП и других ядерных испытательных площадках, так как сильные землетрясения в таких районах опасны не только большим количеством жертв, разрушений и экономических потерь, но и возможными серьезными экологическими проблемами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нурмагамбетов, А. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. / А. Нурмагамбетов, А. Сыдыков [и др.] // Землетрясения в СССР в 1990 г. - М.: Наука, 1997.
2. Михайлова, Н.Н. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий / Н.Н. Михайлова, А.А. Власова. - Алма-Ата: Наука, 1990.
3. Землетрясения в СССР. Ежегодные сборники за 1962-1991 гг. - М.: Наука.
4. Жунусов, Т.Ж. Строительство в сейсмических районах. СНиП РК 2.03-30-2006 / Т.Ж. Жунусов, А.А. Кулибаев, М.У. Ашимов, Ф.Ф. Беспяев [и др.] // Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства. Строительные нормы и правила Республики Казахстан. Алматы, 2006. - 40 с.
5. Землетрясения Северной Евразии. Ежегодные сборники за 1992-1998 гг. - Обнинск: ГС РАН.
6. Неделков, А.И. Исследования по выбору площадок для новых сейсмических групп на территории Казахстана / А.И. Неделков // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы: 2001. - Вып. 2. - С. 48 - 54.

7. Михайлова, Н.Н. Обоснование апертуры новой сейсмической группы Боровое на основе корреляционного анализа сейсмических данных / Н.Н. Михайлова, З.И. Синева // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы нераспространения, 2001. – Вып. 2. – С. 52 - 56.
8. Великанов, А.Е. Изучение источников промышленных взрывов на территории Казахстана / А.Е. Великанов, Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, И.Л. Аристова, А.С. Мукамбаев // Вестник НЯЦ РК, 2013. – Вып. 2. – С. 77 - 85.
9. Сатов, М.Ж. Мониторинг горного массива по данным сдвижения горных пород / М.Ж. Сатов // Горный журнал, 1999. – №3 – С. 44 - 47.
10. Сатов, М.Ж. Сейсморайонирование месторождения по данным приборного контроля / М.Ж. Сатов // Горный журнал, 1999. – N 3. – С. 14 - 16.
11. Беляшова, Н.Н. Центральный и Восточный Казахстан / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – С. 71 - 75.
12. Адушкин, В.В. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) / В.В. Адушкин, С.Б. Турунтаев. – М.: ИНЭК, 2005. – 252 с.
13. Еманов, А.Ф. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) / А.Ф. Еманов [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2014. – N 2. – С. 41 - 46.
14. [Электронный ресурс]: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin>.
15. Михайлова, Н.Н. Изучение локальной сейсмичности Семипалатинского испытательного полигона / Н.Н. Михайлова, М.К. Морговская, И.Н. Соколова, А.И. Неделков, Г.С. Султанова, Е.Н. Казаков // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – Вып. 3. – С. 62 - 69.
16. Khalturin, V. I. / A Review of Nuclear Testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955—1990 / V. I. Khalturin [et al] // Science and Global Security, 13:1–42, 2005.
17. Бейсенбаев, Р.Т. Обзор сейсмичности. Казахстан / Р.Т. Бейсенбаев, А.Н. Ли, Н.А. Калмыкова, Н.П. Неверова, Н.Н. Полешко, Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, Н.В. Силачева // Землетрясения Северной Евразии 2003 // Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 127 - 138.
18. Михайлова, Н.Н. О землетрясении близ Караганды 21 июня 2014 года / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко, А.Е. Великанов, А.Н. Узбеков // Вестник НЯЦ РК, 2015. – Вып. 3. – С. 94 - 100.

## ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ ТЕХНОГЕНДІК СЕЙСМИКАЛЫҚ

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н.

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Қазақстан сейсмикалығының мониторингі, бұрын асейсмикалық болып саналатын аудандарда жерсілкінулердің едәуір санын айқындап алған. Бір қатар жерсілкінулері белсенді техногендік әсері бар жерлеріне байланыстырылған. Мақалада, Қазақстан аумағындағы техногенді және жасанды тегіндегі оқиғалар туралы ақпарат келтіріледі, мониторингтің қазіргі заманғы инструменталды деректерін, сонымен қатар халықаралық деректер орталықтарының деректерін пайдаланып. Қатты пайдалы қазбалар кенорындарындағы (Орталық Қазақстанның Жезқазған кеноры, Солтүстік Қазақстанның алтынрудалы карьерлері), көмірсутек шикізаты кенорындарындағы (Теңіз мұнайгаз кенорны, жанажол газконденсат кенорны), бұрын болған Семей сынау полигонындағы, сондай-ақ табиғи-техногенді (жасанды) жерсілкінулері (Орталық және Батыс Қазақстан) зерттелген. Олар пайда болудың ықтимал себептері қарастырылуда.

## INDUCED SEISMICITY ON THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN

I.N. Sokolova, N.N. Mikhailova, N.N. Poleshko, A.Ye. Velikanov

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

Monitoring of Kazakhstan seismicity has revealed significant amount of earthquakes at regions that traditionally were considered as aseismic. Some earthquakes related to the places of active induced impact. The paper shows information on events of industrial and induced nature on the territory of Kazakhstan using contemporary instrumental data by regional monitoring network and by data of the International Data Centers. The industrial earthquakes at solid minerals fields (Zhezkazgan field in Central Kazakhstan, gold ore mines of North Kazakhstan), raw hydrocarbon deposits (oil and gas Tengiz field, gas condensate Zhanazhol field), at former Semipalatinsk Test Site were investigated as well as natural-induced (induced) earthquakes (in Central and West Kazakhstan). Possible reasons of its appearance are considered.